

产品·设计

# 铁道车辆腰带式空气弹簧气囊子口质量缺陷分析及解决措施

来庆存,刘加健,丁浩,宋翔宇  
(青岛博锐智远减振科技有限公司,山东青岛 266031)

**摘要:**分析铁道车辆用腰带式空气弹簧气囊子口的质量缺陷,尤其是子口厚度不均匀、子口内侧平台凹凸不平等问题产生原因,并从气囊曲线设计、模具设计、隔膜设计、半成品材料分布设计等方面提出优化措施。气囊曲线设计时,尽量增大上下子口垂直间距,保证模具设计空间;模具设计时,在气囊子口部位设计刚性密闭空间且增加排胶功能,在气囊装模和卸模不受影响的前提下,更好地控制气囊子口尺寸;隔膜下侧夹缘内径比气囊子口直径小45 mm以上,为模具及中心机构设计提供空间;半成品材料设置10%~20%的压缩量,在满足气囊子口设计空间的前提下,选择合适尺寸的钢丝圈和适当的修坯方式,保证产品的合格率。

**关键词:**铁道车辆;腰带式空气弹簧;气囊;子口;模具设计;质量缺陷;解决措施

**中图分类号:**TQ336.4<sup>+2</sup>

**文献标志码:**A

**文章编号:**1000-890X(2022)05-0369-05

**DOI:**10.12136/j.issn.1000-890X.2022.05.0369



OSID开放科学标识码  
(扫码与作者交流)

随着轨道交通的快速发展以及各行业减振平台的深入研究,空气弹簧的保有量逐年增加<sup>[1-5]</sup>。铁道车辆用空气弹簧气囊一般分为大曲囊式、小曲囊式和腰带式,有少量为多曲囊式及其他新型式。其中腰带式气囊可以有效地控制气囊膨胀以及其他特性的参数变化,能够以较小的外形尺寸条件承受较大的载荷,避免与车体和转向架干涉,同时气囊上的腰带结构也可以有效地制约气囊在充气状态的外径膨胀,减小表面橡胶的拉伸应力<sup>[6-7]</sup>。腰带式空气弹簧具有承载力大、安全倍数高、安装空间小等优点,在地铁和大铁路上得到了广泛应用<sup>[8]</sup>。

腰带式气囊结构的主要特征是气囊最大外径处有一钢丝圈腰带,气囊子口直径与最大外径相差较小,且大部分气囊上下子口直径相同或相近,上下子口垂直间距较小<sup>[8-10]</sup>,其特殊结构给生产带

来一定困难,产品主要缺陷问题有腰带处缺陷、囊体气泡、子口厚度和内侧平台控制超差等<sup>[11-13]</sup>,其中子口部位质量缺陷占比高达5%。气囊子口部位缺陷是空气弹簧漏风的一个重要影响因素<sup>[14-16]</sup>。

本工作从气囊曲线设计、模具设计、半成品材料分布设计等方面对腰带式气囊子口质量控制进行深入研究,并在实际生产中取得了明显的改善效果。

## 1 腰带式空气弹簧及气囊结构

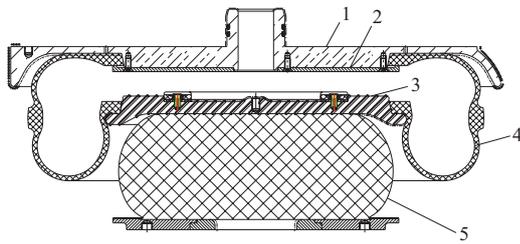
腰带式空气弹簧由上盖、气囊、橡胶堆、支撑座、扣环(可无)等组成,如图1所示。其中气囊(结构见图2)与上盖和支撑座配合组装,气囊子口是气囊与上盖、支撑座等其他部件的配合部位,该部位缺陷会严重影响空气弹簧的密封性能,出现空气弹簧漏风现象<sup>[14-16]</sup>。气囊子口厚度关系到气囊

**作者简介:**来庆存(1989—),男,山东莒南人,青岛博锐智远减振科技有限公司工程师,硕士,主要从事空气弹簧气囊成型和硫化工艺的研究以及硫化模具的结构设计与优化等工作。

**E-mail:**laiqingcun1989@163.com

**引用本文:**来庆存,刘加健,丁浩,等.铁道车辆腰带式空气弹簧气囊子口质量缺陷分析及解决措施[J].橡胶工业,2022,69(5):369-373.

**Citation:**LAI Qingcun, LIU Jiajian, DING Hao, et al. Quality defect analysis and solutions of airbag bead of belt type air spring for railway vehicle[J]. China Rubber Industry, 2022, 69(5): 369-373.



1—上盖;2—扣环;3—支撑座;4—气囊;5—橡胶堆。

图1 腰带式空气弹簧结构示意图

Fig. 1 Structure of belt type air spring

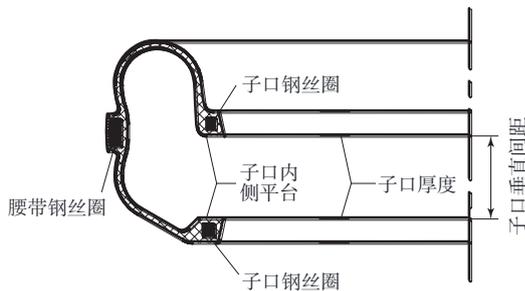


图2 腰带式气囊结构示意图

Fig. 2 Structure of belt type airbag

与上盖和支撑座的配合紧密度以及是否能够有效防止气囊子口脱出。但气囊子口厚度过大,在空气弹簧组装过程中会导致气囊子口不能完全进入倒扣凸台下或导致内侧扣环安装不到位;气囊子口厚度过小,会导致气囊与上盖或支撑座间产生上下移动,从而发生漏风现象。

在气囊生产过程中,气囊子口主要缺陷有子口重皮或裂口、子口缺胶、子口厚度控制不均、子口内侧平台凹凸不平等,在此针对子口厚度控制不均、子口内侧平台凹凸不平等质量问题<sup>[12-13]</sup>进行分析,并提出解决措施或优化方案。

## 2 腰带式气囊子口质量问题分析

腰带式气囊硫化工艺主要分为无隔膜硫化和隔膜硫化两种。根据硫化工艺的不同,目前气囊子口厚度及内侧平台控制方式主要分为两种。

(1)对于无隔膜硫化工艺,气囊子口形状主要由压力介质与模具挤压硫化定型完成,这是因为无隔膜硫化时子口内侧平台处仅靠压力介质控制不能形成刚性密闭空间。子口尺寸与囊坯半成品材料密切相关,对半成品的制造要求高。囊坯制造的差异,导致气囊子口厚度难以控制,出现子口

厚度或内侧平台凹凸不平等不合格现象。

(2)对于隔膜硫化工艺,又分为无压环和有压环控制两种情况。对无压环控制硫化工艺,气囊子口形状主要由隔膜与模具挤压形成密闭空间控制(如图3所示),子口内侧平台相对可控,但隔膜本身为橡胶材料,弹性好且本身存在花纹及排气线,导致子口内侧平台处凹凸不平,子口厚度控制困难。对于有压环控制硫化工艺,气囊子口形状主要由压环与模具形成的密闭空间控制(如图4所示),相比无压环工艺,该工艺子口内侧平台控制得到优化,但压环在水平方向和垂直方向上相对自由,硫化装模不正,隔膜充气过快,均会导致压环偏歪,使得子口圆周不同部位厚度存在差异,导致气囊不合格;压环的水平偏移同样会导致气囊内侧平台距离子口外沿尺寸不均,影响空气弹簧内侧扣环的安装。

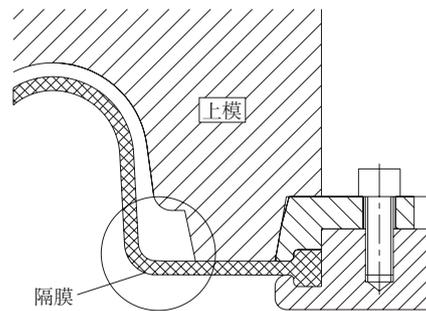


图3 无压环控制硫化工艺的模具配合示意

Fig. 3 Mold matching diagram of vulcanization process without pressure ring control

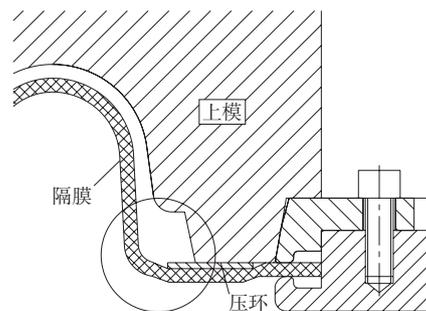


图4 有压环控制硫化工艺的模具配合示意

Fig. 4 Mold matching diagram of vulcanization process with pressure ring control

## 3 解决措施

### 3.1 气囊曲线设计

目前腰带式气囊的上下子口直径基本相同,

且上下子口垂直间距小,最小可达25 mm,此种曲线气囊的模具及中心机构设计过程中可操作的空间很小,不得不采取无压环或有压环隔膜硫化工艺,导致气囊子口合格率降低。

新设计腰带式气囊的理想方案是在满足气囊有效弧长和安装尺寸的情况下,上下子口间垂直间距尽可能大,为模具设计留出足够的空间;另外,上下子口直径差异设计也有助于气囊模具和工艺设计,以极大地提高产品的合格率。

### 3.2 硫化模具及中心机构设计

硫化模具及中心机构设计时,考虑到气囊子口尺寸的要求,需要在子口部位设计一个刚性密闭空间,用以满足子口形状的形成,有效改善子口厚度超限、子口内侧平台凹凸不平现象。目前采用的优化设计方案有以下几种形式。

(1)对于腰带式气囊上下子口直径存在差异且垂直间距较大的情况,参考大曲囊式气囊模具对子口控制的方式。大曲囊式气囊子口部位的模具设计如图5所示。

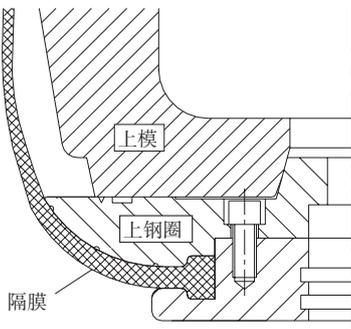


图5 大曲囊式气囊子口部位的模具设计  
Fig.5 Mold design for bead part of large curved airbag

大曲囊式气囊的小子口由上模、上钢圈和硫化隔膜压制成型,气囊子口厚度由上模与上钢圈之间的空间大小来控制。而上模与上钢圈均为金属件且为回转体,运动自由度只有上下两方向,依靠合模压力贴合后,能够提供大小稳定的半封闭空间,保证子口尺寸在可控范围内;另外,上模与上钢圈紧密贴合后不会出现偏歪现象,故气囊子口尺寸能够稳定地满足设计要求。

对于腰带式气囊上下子口直径存在差异且垂直间距较大的情况,其模具设计可舍弃传统依靠

压环和上模控制子口厚度的方法,采用类似大曲囊式气囊模具的设计方式,用上钢圈替代压环,能够有效改善气囊子口参数的可控性,极大地提高了气囊的合格率。腰带式气囊模具的优化设计如图6所示。

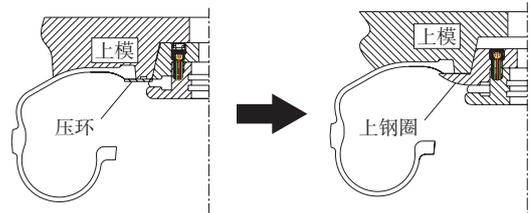


图6 腰带式气囊模具的优化设计  
Fig.6 Optimal design of belt type airbag mold

腰带式气囊模具将大曲囊式气囊模具的压环和上钢圈改为带有平台的上钢圈,设计时需考虑上钢圈最大外直径小于气囊下子口直径,确保装坯、卸囊顺利,且需要保证气囊上下子口之间有足够的空间以设计隔膜和硫化介质循环通道。经试制验证,该设计合理,已用于正常生产,气囊子口部位合格率由原有的70%提升到95%以上。

(2)对于腰带式气囊上下子口直径相同且子口垂直间距较大的情况,也参考大曲囊式气囊模具对子口控制的方式,优化了模具上压环设计,即采用凸台的方式固定压环,如图7所示。整个模具在气囊子口部位形成一个刚性密闭空间,其效果是:隔膜的伸张挤压不会直接影响气囊子口厚度,也不会造成压环偏歪,可在确保气囊装模和卸模不受影响的前提下,有效保证子口尺寸,更好地控制子口形状。此种设计方案已用于批量生产,基本解决了气囊上子口尺寸不合格问题,取得了良好工艺效果 and 经济效益。

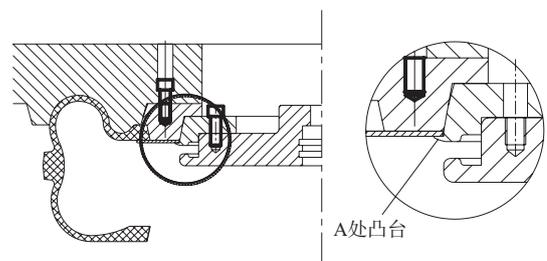


图7 腰带式气囊模具的上夹环优化设计  
Fig.7 Optimal design of upper clamping ring of belt type airbag mold

### 3.3 隔膜及压环尺寸设计

隔膜曲线设计对气囊子口厚度等尺寸影响不大,但是隔膜夹缘尺寸对模具设计存在影响,考虑到腰带式气囊模具及中心机构的设计空间问题,隔膜夹缘在满足强度和生产要求的前提下,上下夹缘错开,下侧夹缘内径比气囊子口直径小45 mm以上,以保证囊坯装模顺畅,压环安装到位(压环内径与下部卡盘尺寸有关,一般比下卡盘外径大40 mm,压环外径与子口直径相关);上侧夹缘内径小于下侧夹缘内径20 mm为最佳,以方便压环改造、压环安装、囊坯装模等。

### 3.4 半成品材料分布设计

腰带式气囊子口质量与囊坯在子口处的材料分布存在直接关系。

一般来说,气囊子口的钢丝圈、帘线、胶料叠加高度尺寸一般为子口厚度的110%~120%,钢丝圈、帘布、橡胶均为不可压缩材料,其10%~20%的压缩量完全可以保证子口部位压实紧密,又不至于产生过多废料、胶边。如果子口处材料过多,会导致该处多余材料无法溢出,出现子口厚度超差、钢丝圈变形、子口漏帘线等问题;材料过少,子口会出现融缝、缺胶甚至欠硫现象。在气囊硫化工艺设计时,需要考虑该处材料分布,选择适宜高度的钢丝圈和合适的修坯方式,保证产品的合格率。

## 4 结论

基于铁道车辆用腰带式空气弹簧气囊的结构特点<sup>[8-9]</sup>,分析了腰带式气囊子口质量缺陷,尤其是子口厚度超限、子口压环偏歪等问题产生的原因,并从气囊曲线设计、模具设计、隔膜设计、半成品材料分布设计等方面提出解决措施。

(1)气囊曲线设计时,尽量增大上下子口垂直间距,保证模具设计的操作空间;上下子口直径差异设计,也有助于模具设计和工艺设计,能够极大地提高产品的合格率。

(2)气囊模具设计时,子口部位采用刚性密闭空间且具备排胶设计,在气囊装模和卸模不受影响的前提下,保证子口尺寸,更好地控制子口

形状。

(3)隔膜夹缘在满足强度和产品要求的前提下,下侧夹缘内径小于气囊子口直径45 mm以上,为模具及中心机构设计提供空间。

(4)半成品材料设置10%~20%的压缩量,在满足气囊子口设计空间的前提下,选择合适尺寸的钢丝圈和适当的修坯方式,保证产品的合格率。

通过上述一系列改进措施的实施,目前我公司腰带式气囊子口厚度不均匀、子口内侧平台凸凹不平等质量缺陷降低至0.58%以下。腰带式空气弹簧气囊子口质量的有效控制,在实际使用中避免了此类气囊子口部位可能产生的漏风隐患,极大地提高了腰带式空气弹簧的使用安全性。

### 参考文献:

- [1] 孔军. 空气弹簧在我国轨道车辆中的应用与发展[J]. 铁道车辆, 2002, 40(3): 5-8.  
KONG J. Application and development of air springs for rail cars in our country[J]. Rolling Stock, 2002, 40(3): 5-8.
- [2] 宋红光, 姚小强, 孔军, 等. 城市轨道交通车辆用空气弹簧的国产化与发展趋势[J]. 城市轨道交通研究, 2012, 15(9): 130-133.  
SONG H G, YAO X Q, KONG J, et al. Localization and development trend of air spring for urban rail transit vehicles[J]. Urban Mass Transit, 2012, 15(9): 130-133.
- [3] 叶特. 中国标准动车组用空气弹簧的研制[D]. 成都: 西南交通大学, 2018.
- [4] 申伟, 杨颖鹏, 张华. 光学平台减振系统用空气弹簧的设计及试验研究[J]. 橡胶工业, 2021, 68(6): 437-443.  
SHEN W, YANG Y P, ZHANG H. Design and experimental research of air spring for vibration reduction system of optical platform[J]. China Rubber Industry, 2021, 68(6): 437-443.
- [5] 王云鹏, 申伟, 张华, 等. 舰船平台设备的减振设计及振动性能研究[J]. 机械研究与应用, 2021, 34(3): 24-27.  
WANG Y P, SHEN W, ZHANG H, et al. Vibration reduction design and vibration performance research of shipborne platform equipment[J]. Mechanical Research & Application, 2021, 34(3): 24-27.
- [6] 杜尚. 出口印度SYS640G型空气弹簧的研制[J]. 铁道车辆, 2010, 48(3): 26-29, 34.  
DU S. Development of SYS640G air springs exported to India[J]. Rolling Stock, 2010, 48(3): 26-29, 34.
- [7] 张利国, 张嘉钟, 贾力萍, 等. 空气弹簧的现状及其发展[J]. 振动与冲击, 2007, 26(2): 146-151.

- ZHANG L G, ZHANG J Z, JIA L P, et al. Future and development of air springs[J]. Journal of Vibration and Shock, 2007, 26(2): 146-151.
- [8] 叶特, 龙焱坤, 陈清化, 等. 腰带式空气弹簧载荷内压影响因素的研究[J]. 铁道机车车辆, 2017, 37(4): 38-41.
- YE T, LONG Y K, CHEN Q H, et al. Research on the influence factors of load & pressure character for belted air spring[J]. Railway Locomotive & Car, 2017, 37(4): 38-41.
- [9] 青岛四方车辆研究所有限公司. 铁道车辆空气弹簧: TB/T 2841—2010[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2010.
- [10] European Committee for Standardization. Railway applications—rubber suspension components—rubber diaphragms for pneumatic suspension springs: EN 13597:2003[S]. 2003.
- [11] 金红超, 何锋, 杨洪江, 等. 空气弹簧生产工艺及关键控制点的研究[J]. 液压气动与密封, 2021, 41(5): 71-74.
- JIN H C, HE F, YANG H J, et al. Study on the production process and key control points of air spring[J]. Hydraulics Pneumatics & Seals, 2021, 41(5): 71-74.
- [12] 邵亮. 铁道车辆空气弹簧橡胶囊外观质量问题分析[J]. 特种橡胶制品, 2007, 28(4): 55-57.
- TAI L. Analysis of aspect qualities of rubber bellows for vehicle on railway[J]. Special Purpose Rubber Products, 2007, 28(4): 55-57.
- [13] 邵亮. 空气弹簧胶囊囊体帘线质量缺陷的产生原因和解决措施[J]. 橡胶工业, 2009, 56(1): 47-48.
- TAI L. Causes for quality defects of cord of air spring bladder and their countermeasures[J]. China Rubber Industry, 2009, 56(1): 47-48.
- [14] 孔军, 王黎明, 刘兴臣. 空气弹簧低温泄漏的原因分析及处理措施[J]. 铁道车辆, 2003, 41(8): 34-37.
- KONG J, WANG L M, LIU X C. Analysis of causes to leakage of air springs at low temperature and the disposition measures[J]. Rolling Stock, 2003, 41(8): 34-37.
- [15] 宋连赞. 冬季提速客车空气弹簧漏风故障增多的原因及防止[J]. 铁道车辆, 2004, 42(2): 43-44.
- SONG L Y. Causes to increase of air leakage troubles in air springs on speed increased passenger cars in winter and preventions[J]. Rolling Stock, 2004, 42(2): 43-44.
- [16] 张忠平, 王文生, 丁国宾, 等. 空气弹簧漏风故障的调查分析和研究[J]. 铁道机车车辆, 2004, 24(3): 61-63.
- ZHANG Z P, WANG W S, DING G B, et al. Investigation and analysis and studying of the trouble that the air spring leaks out[J]. Railway Locomotive & Car, 2004, 24(3): 61-63.

收稿日期: 2021-11-09

## Quality Defect Analysis and Solutions of Airbag Bead of Belt Type Air Spring for Railway Vehicle

LAI Qingcun, LIU Jiajian, DING Hao, SONG Xiangyu

(Qingdao Borui Zhiyuan Anti-vibration Technology Co., Ltd, Qingdao 266031, China)

**Abstract:** The causes of the quality defects of the airbag bead of the belt type air spring for railway vehicles, especially the uneven thickness of the bead and the uneven platform in the bead were analyzed, and the optimization measures from the aspects of airbag curve design, mold design, diaphragm design and material distribution design of semi-finished products were put forward. In the airbag curve design, the vertical distance between the upper and lower beads needed to be increased as large as possible to ensure the mold design space. In the mold design, a rigid airtight space was designed at the airbag bead part and the function of rubber discharge was added. Therefore, the size of the airbag bead could be better controlled under the premise that the airbag mold loading and unloading were not affected. The inner diameter of the clamping edge at the lower side of the diaphragm was more than 45 mm smaller than the diameter of the airbag bead, which provided space for the design of the mold and the central mechanism. The material of semi-finished products was set with a compression amount of 10% ~ 20%. On the premise of meeting the design space of airbag bead, the appropriate size of the bead ring and the appropriate way of trimmings were selected to ensure the qualified rate of the products.

**Key words:** railway vehicle; belt type air spring; airbag; bead; mold design; quality defect; solution